Untersuchungen über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung.

INAUGURAL-DISSERTATION

welche

unter Zustimmung der hochlöblichen medicinischen Facultät zu Marburg

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

einreicht

Josef Kramer
aus Fürstenberg.

Marburg.
Universitäts-Buchdruckerei (R. Friedrich).
1882.

Am Ende des Sommersemesters 1880 forderte mich der Herr Professor Schmidt-Rimpler hierselbst auf, die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung einer Untersuchung zu unterziehen. Diesem Wunsche bin ich nachgekommen und stehe im Begriff, der hochlöblichen medizinischen Fakultät der Universität Marburg die Resultate meiner Arbeit vorzulegen mit der Bitte, event. Mängel derselben der noch wenig geübten Beobachtungsgabe eines Anfängers zu Gute halten zu wollen. Ehe ich den Plan und die Methode meiner Untersuchungen entwickle, will ich kurz die bisher über diesen und andere verwandte Gegenstände erschienene Literatur einer Besprechung unterziehen.

Zunächst ist hier Donders zu nennen, der im Archiv für Ophthalmologie von Arlt, Donders und Leber im Jahre 1877 eine »quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens« publizirte. Donders untersuchte dasselbe vom Gesichtspunkte des erforderlichen Sehwinkels aus, indem er runde Stückchen Blumenpapier von verschiedenen Durchmessern auf schwarze Sammetläppchen klebte, welche dann auf einem grossen Stück an der Wand befestigt und theils einzeln, theils viele zugleich bei Tageslicht im Zimmer fixirt wurden. Nähere Angaben über seine Methode zu machen, hat er unterlassen, so dass dieselbe einer eingehenderen Kritik nicht unterworfen werden kann. Bei seinen Versuchen kam er zu der Formel: $K = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{d^2}{D^2}$, worin K das Farbenunterscheidungsvermögen, 1 eine farbige Kreisfläche von 1 mm Durchmesser, welche, wie Donders später angibt, von einem normalen Auge in 5 Metern

erkannt werden soll, m die Grösse des Durchmessers der in Betracht kommenden runden Farbenfläche, d die Entfernung, worin diese noch erkannt wird und endlich D die Distanz bedeutet, in der ein normales Auge eine Farbenfläche von 1 mm. Durchmesser erkennt (5 M.). Wenn z. B. jemand eine rothe Kreisfläche von 4 mm Durchmesser bei Tageslicht in 18 Metern sieht, dann würde er folgende K haben: $K = \frac{1}{16} \cdot \frac{18^2}{5^2} = \frac{324}{314}$; sie wäre also grösser als 1. Wir werden später sehen, wie sich meine Untersuchungen zu dieser Formel stellen. Betreffs des Einflusses des Helligkeitsgrades bemerkt Donders: »Mit dem bessern Tageslicht steigt die Perception der meisten Farben doch sehr merklich und es ist daher sehr wünschenswerth, bei jeder Untersuchung D zu bestimmen, welches somit in seiner Formel variabel ist. D erschien jedoch spätern Forschern auf diesem Gebiet absolut zu hoch bemessen. Unter ihnen ist zunächst Dor zu erwähnen, der im Jahre 1878 eine kleine Schrift veröffentlichte, betitelt: »Échelle pour mésurer l'acuité de la vision chromatique«, worin er sich bemühte, für die Farbensehschärfe bei Tages- und Kerzenlicht gewisse Normen festzustellen, um darnach pathologische Zustände der Farbenempfänglichkeit beurtheilen zu können. Zu diesem Zwecke hielt er hinter in eine Metallplatte geschlagene runde Löcher Heidelberger Farbenpapiere und bestimmte die Durchmesser der Löcher, bei denen die verschiedenen Farben in 5 Mtr. Entfernung erkannt wurden. Dann stellte er dieselben Versuche in 10 und 20 Metern Entfernung an. Hiernach konstruirte er Farbentafeln mit farbigen Kreisflächen auf schwarzem Grunde. Den speziellen Zweck Dor's verfolgt nun zwar meine Aufgabe nicht; aber ich habe mir die Frage vorgelegt, ob ich seine Farbentafeln auch zu meinen Untersuchungen verwenden solle. Es wurde mir jedoch bald klar, dass die Anwendung der Dor'schen Tafeln meine Aufgabe sehr kompliziren würde; auch zeigte es sich, dass dieselben wegen technischer Mängel zu exakten Versuchen völlig unbrauchbar waren; denn zunächst ist es sehr störend, dass alle Farben nebeneinander auf derselben Tafel angebracht sind;

ferner ist der schwarze Hintergrund der Tafeln viel zu matt ausgefallen, um die Farben praegnant hervortreten zu lassen; dann glänzt dieser so stark, dass man in einer Entfernung, wo die Farben noch ganz gut gesehen werden, bei gewissen Winkelstellungen der Tafeln zum einfallenden Licht die Farben nicht mehr erkennt. Schliesslich leiden die Dor'schen Versuche an Mängeln, die später zur Sprache kommen werden. Auch die von diesem Ophthalmologen aufgestellte Norm für die Farbensehschärfe hat sich als unrichtig erwiesen, wie sich das im Verlauf dieser Arbeit noch vielfach zeigen wird. Im folgenden Jahre erschien nun im Archiv für Augenheilkunde von Knapp und Hirschberg ein Aufsatz von Professor Cohn in Breslau: »Vergleichende Messungen des Farbensinns bei Tages-, Gas- und elektrischem Lichte«, die sich theilweise als Kontrollversuche der Arbeiten der früher genannten Autoren darstellen. Cohn experimentirt bei diffusem Tageslicht im Zimmer, genau bestimmtem Gas- und elektrischem Licht. Er benutzt die Farben des Weber'schen Chromoptometer; dieser Apparat besteht aus einer Anzahl von farbigen, runden Papierstückchen, die auf schwarzen Sammt geklebt sind und in bestimmten Proportionen an Grösse abnehmen. Durch schwarze Sammtschieber, die eine Oeffnung tragen, kann jede Farbe in beliebiger Grösse vorgeführt werden, während alle anderen verdeckt sind. Die Lichtquelle ist in 1 Mtr. Distanz von der farbigen Fläche aufgestellt. Jedes Auge wurde für sich geprüft und event. Ametropien neutralisirt. Es wurden nur intelligente Personen zu den Prüfungen zugelassen. Was nun die Genauigkeit dieser Untersuchungsmethode angeht, so ist ein bedeutender Fortschritt gegenüber den Dor'schen Arbeiten nicht zu verkennen. Cohn wählt schwarzen Sammt als Hintergrund nach dem Vorgange von Donders, während Dor die Bedeutung des Farbenhintergrundes etwas unterschätzt zu haben scheint. Cohn schliesst die Mischfarben Dor's Orange, Violett und Citronengelb von der Prüfung mit Recht aus und lässt jede Farbe isolirt fixiren. wie er überhaupt schon mehr Kautelen bei der Untersuchung beobachtet, wie das Dor gethan zu haben scheint. Aber nichts desto weniger möchte ich behaupten, dass selbst Cohn nicht

die grösstmöglichste Exaktheit der Methode erreicht hat. Wie man aus einigen spätern Bemerkungen desselben schliessen darf, hat diese darin bestanden, dass er den zu Untersuchenden sich z. B. in einer Entfernung von 5 Metern aufstellen liess, ihn fragte, ob er die von Weber auf diese Entfernung normirte Farbenfläche erkenne und ihn event. vor- oder rückwärts gehen liess, um die weiteste Entfernung zu finden, wo die Farbe noch deutlich gesehen wurde. Falls meine Vermuthung richtig ist, dann ist eine solche Methode, mit dem Auge feinere Differenzen percipiren zu lassen, ebenso unrichtig, wie die Art eines Lehrers der physikalischen Lungenuntersuchung, seine Schüler die Lungengrenzen so finden zu lehren, dass er sie beständig auf denselben herumklopfen liesse. Um feinere Differenzen mit den Sinnesorganen herausfinden zu lehren, muss man anfangs Contraste zeigen. Welche Fehler bei dem entgegengesetzten Verfahren vorkommen, ist häufig zu beobachten. Auch glaube ich, dass es sehr schwer sein muss, objektiv den Punkt, wo der deutliche Farbeneindruck schwindet, zu ermitteln, wenn man sich von der Farbe entfernt, da eine Farbenempfindung zu leicht ungebührlich lange im Auge bleibt und man die Farbe noch zu erkennen glaubt, wo man objektiv kaum sagen könnte, welche Farbe man vor sich habe. Ferner bin ich im Zweifel über die Brauchbarkeit des Weber'schen Chromoptometers, wenn der Rand des Ringes im Sammtschieber event. durch Reflexe störend und der Ring selbt etwas klein ist, wie Cohn selbst angibt; jedenfalls kann man sich nach seiner Darstellung keinen Begriff machen von der Grösse dieser Fehlerquelle. Sodann vermisst man bei den Cohn'schen Vergleichungen ein gewisses tertium comparationis, eine Vergleichungseinheit, zu der alles in Beziehung gebracht wird. Wenn die Resultate seiner Arbeit im allgemeinen den Thatsachen auch entsprechen werden, so befriedigen sie den Leser doch nicht vollständig. Sodann hätte ich gewünscht, dass Cohn angegeben hätte, in welchem Winkel das künstliche Licht die farbige Fläche traf und in welcher Höhe letztere im Verhältniss zur Stellung des Lichts und zum Auge des Beobachters angebracht war. Denn der Winkel, in dem das Licht auffällt

und reflektirt wird und das Mass, in dem die reflektirten Strahlen in das Auge des Beobachters fallen, scheint mir von bisher ungeahnter Bedeutung zu sein bei der Farbenschärfe. Hiervon überzeugte mich ein einziger Versuch: Ich liess Roth (4 mm. Durchmesser) in 1 M. Distanz in einem Winkel von ungefähr 45° von Gaslicht beleuchten; der Erfolg war, dass es nur in 6—7 M. Entfernung erkannt wurde, während bei möglichst senkrechter Beleuchtung seitens desselben Lichts 9—10 M. die Norm waren. Natürlich darf der Leser nicht glauben, ich hätte mich durch das Glänzen der farbigen Fläche oder des Hintergrundes täuschen lassen. Formell habe ich schliesslich noch zu der Cohn'schen Arbeit zu bemerken, dass seine vergleichenden Messungen des Farbensinns bei verschiedenen Lichtarten doch ebenso die Bezeichnung »quantitativ« verdienen, wie seine später erschienenen Messungen des Farbensinns. Beide Messungen müssen also wesentlich mit derselben Methode ausgeführt werden und aus schon früher angegebenen Gründen ist die bei seinen »quantitativen Messungen«, wo er den zu Prüfenden sich aus der Ferne nähern lässt, angewandte Prüfungsart die allein richtige. Cohn nennt ferner seine vergleichenden Versuche relativ, wesshalb absolute Zahlen dabei nicht nothwendig seien. Den relativen Charakter kann man aber doch nur so verstehen nach seiner Andeutung, dass er die absoluten Werthe, die er gefunden hat, zu der Norm in Relation setzt, die Weber mit seinem Apparat gefunden haben will und die Cohn mit 1 bezeichnet. Absolute Zahlen, meine ich, sind immer nothwendig, selbst wenn man Vergleiche anstellen will.

Dass ich bei der Durchmusterung der bisherigen Hauptarbeiten auf unserm Gebiete den bislang bei Farbensinnbestimmungen zur Anwendung gekommenen Methoden grössere Aufmerksamkeit geschenkt habe, als ihren Zwecken und Resultaten, wird jeder billigen, wenn er sich der Tendenz meiner Aufgabe erinnert. Mauthner nennt zwar alle Untersuchungen über das Farbenunterscheidungsvermögen praktisch bedeutungslos; ein Urtheil, über dessen Richtigkeit ich nicht streiten will. Soviel lässt sich aber jetzt schon sagen, dass es nicht eher erlaubt sein wird, eine den Snellen'schen Tafeln analoge Farbensehschärfe-

norm aufzustellen, als bis alle die Farbensehschärfe beeinflussenden Momente in ihrer Bedeutung bekannt und fixirt sind. Die Versuche von Donders, Dor und Weber in dieser Richtung erscheinen etwas verfrüht und haben schon durch Cohn's Versuche keine Bestätigung gefunden.

Was nunmehr meine eigene Arbeit anbetrifft, so lassen sich die speziellen Aufgaben, die mir der Wortlaut meines Themas stellt, kurz entwickeln. Der Begriff »Farbenempfindung« kann quantitativ und qualitativ genommen werden; quantitativ bedeutet er die Sehschärfe und qualitativ die Art der Perzeption farbiger Eindrücke. Es soll nun die Abhängigkeit dieser beiden Arten der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung untersucht werden. Zu diesem Zwecke wurden im Ganzen 180 Versuche gemacht. Die hierbei inne gehaltene Methode ist kurz folgende: Von den Farben wurden nur die 4 Hauptrepräsentanten der Prüfung unterworfen: Roth, Grün, Gelb und Blau in Form der von E. Pflüger benutzten Farbenpapiere und in den von Dor angegebenen Intensitäten. Aus diesen stellte ich mir mittelst eines Locheisens Kreisflächen her, die alle einen Durchmesser von 4 mm. hatten und einzeln auf kleine quadratische, mit schwarzem Sammt überzogene Täfelchen geklebt wurden. Als Beleuchtungsarten wurden benutzt Sonnenlicht, Gas-, Petroleum-, Kerzen-, Natrium-, Kalium-, Strontium- und Calciumlicht, also 8 Lichtarten. Die erforderlichen Beleuchtungsgrade stellte ich bei den künstlichen Lichtarten dadurch her, dass ich die Lichtquelle, welche möglichst senkrecht zur Farbenfläche aufgestellt wurde, in verschiedenen Entfernungen wirken liess, wodurch natürlich different starke Beleuchtungsintensitäten bedingt wurden, die sich physikalisch ziemlich genau berechnen liessen nach dem bekannten Gesetz, dass die Intensität des Lichts umgekehrt proportional ist dem Quadrat der Entfernung. Bezeichnen wir nämlich die Lichtintensität bei 1 M. Beleuchtungsdistanz mit J, und wollen wir nun finden, wie weit das Licht zu stellen ist, wenn $\frac{J}{2}$ erzielt werden soll, so ergibt sie die Formel $J : \frac{J}{2} = X^2 : 1^2$,

worin X die gesuchte Entfernung bedeutet; X ist mithin gleich $\sqrt{2} = 1{,}42$. Wollen wir die Beleuchtungsintensität nur $^1/_4$ mal so stark machen, so stellen wir das Licht 2 M. vor der farbigen Fläche auf. Eine kleine Fehlerquelle wird freilich dadurch bedingt, dass das Licht nicht genau in der Senkrechten aufgestellt werden konnte, die man auf der Farbenfläche sich errichtet denkt. Das Farbentäfelchen wurde in gleicher Höhe mit dem Licht etwa 1,5 Meter hoch aufgestellt. Als Beleuchtungsgrade des Sonnenlichts wurde nur direktes Sonnenlicht, welches dem zu Untersuchenden im Rücken stand, und diffuses Tageslicht bei bedecktem Himmel, wie man es Ende Herbst und Anfangs Winter meist trifft, benutzt. Die Lichtquelle wurde nach der Seite des zu Untersuchenden hin durch einen hinreichend grossen, nicht durchscheinenden Schirm abgedämpft resp. der Rath gegeben, falls dieselbe passirt werden musste, durch die seitlich ans Auge gehaltene Handfläche einen störenden Einfluss des Lichts abzuhalten. Ich liebte es, möglichst nur Personen mit normaler Refraktion und Sehschärfe zu prüfen, um einestheils bezügliche Fehlerquellen und anderntheils gewisse andere Unbequemlichkeiten zu vermeiden. Bei den Personen jedoch, die Ametropien hatten, wurden diese entsprechend korrigirt. Da nur Personen mit mindestens normaler Sehschärfe auf jedem Auge gewählt wurden, kam es mir ziemlich indifferent vor, jedes Auge für sich zu untersuchen. Als fix nahm ich naturgemässer und einfachster Weise die Grösse der farbigen Fläche an und liess in der Entfernung, worin diese noch deutlich als Farbe gesehen wurde, die Variation eintreten. Dass ich die Grösse der leuchtenden Flächen möglichst gleich herzustellen versuchte, versteht sich von selbst; leider liess sich dies nur beim Gas- und Petroleumlicht durchführen. Was nun den Prüfungsmodus selbst anlangt, so näherte sich der zu Untersuchende auf einer Bahn, die senkrecht zur Farbenfläche war, langsam aus der Ferne, machte in kleinen Intervallen Halt, um einen event. Farbeneindruck zum Bewusstsein gelangen zu lassen. Zu langes Fixiren der Farbenfläche perhorreszirte ich, indem ich solches als einen Versuch zum Rathen ansah. Ich wählte diese Methode, weil es sich hier bei einiger Aufmerksamkeit,

die ich nicht unterliess sehr einzuschärfen, ziemlich objektiv ermitteln lässt, wo ein vorher unbekannter Farbeneindruck zuerst auftritt. Bei meinen ersten Probeversuchen zeigte sich jedoch sofort eine Hauptschwierigkeit: Wenn man nämlich die Farben in ihren jeweiligen mit der Art der Beleuchtung wechselnden Nuancen und Eigenthümlichkeiten kennt, kann man oft schon in sehr grosser Entfernung rathen oder vermuthen, dass es diese oder jene Farbe ist; dies ist am meisten bei Gelb und Grün der Fall. Somit war hier überreiche Gelegenheit zum Rathen und Hasardiren gegeben, und es kam darauf an, diese gefährliche Fehlerquelle möglichst unschädlich zu machen. Nachdem mehrere Mittelchen nicht zum gewünschten Ziel geführt hatten, sah ich das einzige Prophylaktikum in der grösstmöglichsten Intelligenz des Materials, wesshalb auch fast nur Medizin- oder Naturwissenschaften-studierende und andere sehr intelligente Personen zu den Prüfungen zugelassen wurden, und in dem Streben, dem Einzelnen diese Fehlerquelle zum Bewusstsein zu bringen in der Art, dass ich ihn die Farben in verschiedenen Entfernungen studieren liess, damit er seinem Auge dieselben oder ihre Nuancen einpräge; sodann liess ich den Betreffenden sich aus einer Entfernung, in der man nichts auf der Sammttafel sehen konnte, nähern, wobei er anzugeben hatte, wann für ihn der helle Punkt auftrat, welche Farbeneindrücke er successive bekam und wo endlich der reine Farbenton hervortrat, der sich, abgesehen von der zunehmenden Helligkeit, nicht mehr änderte, mochte man auch noch so nahe gehen. Hier wurde mir nun sehr oft spontan oder auf Befragen die Angabe gemacht, dass die Farben fast plötzlich absolut klar würden, dass oft auf einer Differenz von $^1/_4$ M. vor- oder rückwärts der Eindruck bestimmt resp. zweifelhaft oder verschwommen würde. Ueber diesen Punkt bemerkt Donders fast dasselbe. »Sehr interessant, sagt er, ist es zu beobachten, wie der Untersuchte allmählig vom Zweifel zur Sicherheit kommt. Man zeigt ihm eine einzelne Probe auf 5 M. Abstand; er sieht das Stückchen, aber nicht die Farbe. Einen Schritt näher: er wagt sie . . . . roth zu nennen. Noch einen Schritt; zögernd sagt er: nein ..... grün. Endlich gibt er wieder roth an und

erklärt sich schliesslich immer bestimmter für Roth. Es ist dabei gar nicht schwer zu beurtheilen, wo er Sicherheit bekam«. Per parentesin sei hier schon die Beobachtung vermerkt, welche ich bei dieser Gelegenheit machte, dass nämlich der in Rede stehende Moment meist fast zusammenfiel mit demjenigen, wo selbst für einen weniger Geübten eine annähernd richtige Abschätzung der Grösse der farbigen Fläche möglich wurde, so dass die Sehschärfe für Flächen sehr abhängig erscheint von der Farbe der letztern. Aehnliches hat auch Donders beobachtet.

Für die Versuche bei Petroleumlicht, die mit gütiger Erlaubniss des Herrn Professor Schmidt-Rimpler auf der hiesigen Augenklinik gemacht werden konnten, stand mir ein Raum von 10,5 M., bei den Versuchen mit den übrigen Lichtarten, mit Ausnahme des Calciumlichtes, welches mit der zuvorkommenden Bewilligung des Herrn Professor Zinke auf dem chemischen Laboratorium einer Prüfung unterworfen werden konnte, verfügte ich auf der hiesigen medizinischen Klinik, deren disponible Räumlichkeiten mir Herr Professor Mannkopff mit gewohnter Liebenswürdigkeit zu meinen Zwecken überlassen hatte, über einen Raum von 12,5 M. Die Versuche bei Sonnen- und diffusem Tageslicht wurden im botanischen Garten an einem sehr freiligenden Platze gemacht. Letztere Versuche im Freien zu machen, halte ich für naturgemässer. Die benutzte Petroleumflamme wurde geliefert von einem sog. Rundbrenner, und hatte eine Basalbreite von 19 mm, eine Höhe von 35 mm und die Form eines abgestumpften Kegels; die leuchtende Fläche war mithin ein Trapezoid. Die Gasflamme wurde mittelst einer Gaslampe hergestellt, die gleichfalls ein mit einem Glascylinder umgebener Rundbrenner war. Um hier das leuchtende Rechteck, dessen Grundseite 23 mm. gross war, der Petroleumlichtfläche gleich zu machen, musste der leuchtende Theil der Gasflamme eine Höhe von 20 mm haben. Das Kerzenlicht stammte von einer Parafinkerze, die 51 Gramms wog, 0,015 M. dick und 0,28 M. lang und deren Mantel gerieft war. Das Calciumlicht wurde erzeugt durch einen glühenden Kreidekegel, der einen Grunddurchmesser von 0,0075 M. und eine ebenso grosse Höhe hatte. Die erforder-

liche Glühhitze wurde mittelst einer sog. Kalklampe hergestellt, die im Grundprinzip einen Bunsen'schen Brenner darstellt, bei dem jedoch in das Innere der Flamme ein sehr starker Luftstrom eingeblasen wird, der zuvor glühende um den horizontal liegenden Brenner gewundene Röhren zu passiren hat und von zwei kombinirten Tretblasebälgen geliefert wurde. Zur Herstellung des Natriumlichtes diente entwässertes und gepulvertes Kochsalz, welches in einem kleinen Platindrahtbörbchen von einem Stativ in eine nicht leuchtende Bunsen'sche Gasflamme gehalten wurde; die erzeugte Flamme hatte eine Basalbreite von 2 Cm und eine mittlere Höhe von 7 Cm. In derselben Weise wurde das Kalilicht mit gepulvertem Salpeter und das Strontiumlicht mit Chlorstrontium erzeugt. Letzteres färbt nur als solches die Flamme, zersetzt sich aber leicht in derselben und das zurückbleibende Strontiumoxyd muss durch Befeuchten mit Salzsäure wieder in Chlorstrontium übergeführt werden.

Von diesen Lichtarten habe ich nur 3 photometrisch messen können. Der Apparat, der mir hierzu diente, bestand aus einem auf einer langen Stange verschiebbaren Bunsen'schen Fettfleckphotometer, das mit dem Normallicht in einer Entfernung von 36 Cm fest verbunden war und in toto dem zu prüfenden Licht näher oder entfernter gerückt werden konnte. Zwischen dem Photometer und dem fraglichen Licht war eine Scala angebracht, an der man ohne weiteres, nachdem das Photometer richtig eingestellt war, die Intensität des zu untersuchenden Lichts ablesen konnte. Mit diesem Apparat also fand ich, dass die von mir benutzte Kerzenflamme eine Lichtstärke = 1, die Petroleumflamme eine solche von 5 und das Gaslicht eine Normalstärke von 8,0 hatte. Nachdem hiermit die Versuchsvorbedingungen eine hinlängliche Erläuterung erfahren haben, können wir an den ersten Theil der Aufgabe herantreten. Zur Vergleichung der Farbensehschärfe bei verschiedenen Beleuchtungsarten konnte ich natürlich nur solche heranziehen, bei denen man wirklich Farben sieht. Die Versuche bei Natrium-, Kalium- und Strontiumlicht, bei denen im allgemeinen von einem Farbensehen nicht die Rede sein kann, können nur in so fern von Interesse sein, als sie die Correlation

der Flächen- und Farbensehschärfe illustrieren; ich habe sie daher nur als Appendix dem ersten Theile beigegeben; ihre volle Berücksichtigung werden sie erst im dritten Theile finden. Die Einrichtung der Tabellen des ersten Theiles der Arbeit wird ohne weiteres klar sein. Die Namen der untersuchten Personen habe ich nur in der ersten Tabelle angeführt und später nur deren Nummern wiederholt. Die in den Längskolumnen stehenden Zahlen geben in Metern die Entfernung an, in der für den Einzelnen der Farbeneindruck deutlich auftrat. Die Beleuchtungsdistanz war immer 1 M.

Siehe jetzt die ersten 4 Tabellen und die Zusammenstellung der Sehschärfen bei Natrium-, Kalium- und Strontiumlicht.

I. Verhalten der Farbensehschärfe je nach der Lichtart.

1. Tabelle. (Sehschärfe für Roth.)

Nro.	Name und Stand.	Alter.	Refraktion und Sehschärfe.	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht	Calciumlicht.	Kerzenlicht.
1	Kramer, cand. med.	24	E. 1.	30,0	9,0	8,0	3,5	4,50
2	Oeken, cand. med.	23	E. 1.	28,0	10,0	9,0	3,0	—
3	Dey, Realschüler.	17	E. 1.	29,0	9,5	7,5	3,0	4,0
4	Zeiss, Gymnasiast.	17	E. 1.	30,0	9,0	8,0	3,75	4,25
5	Kettner, Gefreiter Jäger.	24	E. 1.	33,0	8,5	8,5	—	—
6	Schmidt, cand. med.	23	E. 1.	31,0	11,0	8,5	—	—
7	Fabricius, stud. pharmac.	23	E. 1.	34,0	10,0	9,0	—	—
8	Geissler, Krankenwärter.	30	E. 1.	35,0	10,0	7,5	—	—
9	Heiniger, stud. pharmac.	25	M. 1.	33,0	11,0	8,0	—	—
10	Scheuermann, stud. jur.	23	E. 1.	29,0	11,0	9,0	—	—
11	Dedolph, stud. med.	21	M. 1.	29,5	10,5	8,0	—	—
12	Lindner, stud. med.	21	E. 1.	30,5	8,75	8,0	—	—
13	Marseille, Gymnasiast.	18	E. 1.	—	8,5	8,25	—	4,5
14	Reinhardt, stud. rer. nat.	25	M. 1.	—	8,0	7,5	—	—
15	Huppach, Schreinermeister.	29	E. 1.	—	—	8.0	—	—
16	Müller, cand. med.	23	E. 1.	—	—	—	—	—

Nro.	Name und Stand.	Alter.	Refraktion und Sehschärfe.	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht	Calciumlicht.	Kerzenlicht.
17	Richter, Lazarethgehülfe.	22	E. 1.	—	—	8,0	—	—
18	Blumenthal, cand. med.	29	E. 1.	—	—	8,0	—	—
19	Schulz, cand. med.	25	M. 1.	—	—	9,0	—	—
20	Lucanus, cand. med.	23	E. 1.	—	—	7,0	—	—
21	Zimmermann, cand. med.	25	E. 1.	—	11,0	—	—	—
22	Rabe, Hülfskrankenwärter.	28	E. 1.	—	8,5	—	—	—
23	Frl. Becker, Krankenwärterin.	20	E. 1.	—	8,5	—	—	—
24	Günther, Jäger.	23	E. 1.	—	8,5	—	—	4.25
25	Becker, stud. med.	21	E. 1.	—	—	—	3,25	—
	Im Mittel:			31,0	9,7	8,6	3,3	4,3

2. Tabelle. Sehschärfe für Grün.

Nro.	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht.	Calciumlicht.	Kerzenlicht.
1	18,0	8,5	6,0	4,0	4,25
2	18.0	9,25	8,0	4,25	—
3	20,0	9,0	5,5	4,0	4,50
4	20,0	6,5	7,0	4,25	3,75
5	25,0	8,5	8,5	—	—
6	20.0	8,5	9,5	—	—
7	20,0	7,5	8,0	—	—
8	22,0	9,0	7,0	—	—
9	19	8,0	6,5	—	—
10	24,0	7,5	6,5	—	—
11	22,0	7.5	6,0	—	—
12	18,0	6,5	7,0	—	—
13	—	7,75	8,0	—	4,25
14	—	7,0	4,75	—	—
15	—	—	7,0	—	—
16	—	—	7,0	—	—
17	—	—	6,5	—	—
18	—	—	6,0	—	—
19	—	—	7,0	—	—
20	—	—	6,0	—	—
21	—	8,5	—	—	—
22	—	8	—	—	—
23	—	8,25	—	—	—
24	—	9,5	—	—	4,25
25	—	—	—	4,0	—
Im Mittel	20,0	8,0	6.88	4,1	4,2

3. Tabelle. Sehschärfe für Gelb.

Nro.	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht.	Calciumlicht.	Kerzenlicht.
1	20,0	8,5	7,0	5,5	5,0
2	29.0	9,5	8,0	6,0	—
3	22,0	8,75	7,0	5,5	4,75
4	22,0	8,0	8,0	6,5	5,0
5	25,0	8,5	9,5	—	—
6	26.0	9,0	9,5	—	—
7	26,0	10,0	7,0	—	—
8	25,0	9,0	8,5	—	—
9	23,0	7,5	7,5	—	—
10	27,5	8,75	7,5	—	—
11	20,0	8.0	7,0	—	—
12	20,0	8,0	8,0	—	—
13	—	8,5	9	—	4,75
14	—	9,0	6,5	—	—
15	—	—	8,0	—	—
16	—	—	8,0	—	—
17	—	—	8,0	—	—
18	—	—	7,75	—	—
19	—	—	8,0	—	—
20	—	—	6,0	—	—
21	—	9,25	—	—	—
22	—	9,0	—	—	—
23	—	8,25	—	—	—
24	—	9,0	—	—	5,0
25	—	—	—	6,0	—
Im Mittel	23,8	8,7	7,8	5,9	4,9

4. Tabelle. Sehschärfe für Blau.

Nro.	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht	Calciumlicht.	Kerzenlicht.
1	13,5	4,5	3,0	1,25	2,25
2	20,0	5,5	4,5	1,25	—
3	14,0	4,0	2,75	1,75	2,0
4	16,0	5,0	4,0	1,25	2,5
5	17,5	5,75	5,25	—	—
6	13,0	5,5	4,5	—	—
7	16	5,0	3,75	—	—
8	17,0	5,0	5,25	—	—
9	15,0	5,5	3,5	—	—
10	19	5,25	4,0	—	—
11	16	5,25	3,75	—	—
12	15	4,25	4,0	—	—
13	—	4,75	5,25	—	2,5
14	—	3,75	3	—	—
15	—	—	5,25	—	—
16	—	—	3,75	—	—
17	—	—	4,0	—	—
18	—	—	4,0	—	—
19	—	—	3,0	—	—
20	—	—	4,0	—	—
21	—	5,75	—	—	—
22	—	4,5	—	—	—
23	—	5,0	—	—	—
24	—	5,0	—	—	2,0
25	—	—	—	1,75	—
Im Mittel	16,0	5,0	4,0	1,45	2,2

Roth.

Nro.	Name.	Natriumlicht.	Strontiumlicht.	Kaliumlicht.
1	Kettner	4,25	1,75	0,5
2	Oeken	5,0	1,75	0,5
3	Kramer	4,5	1,75	0,5
4	Schmidt	3,5	2,0	0,75
5	Dey	6,0	2,0	0,5

Grün.

Nro.	Name.	Natriumlicht.	Strontiumlicht.	Kaliumlicht.
1	Kettner	4,0	1,25	0,75
2	Oeken	4,0	1,5	1.0
3	Kramer	4,0	2,0	0,75
4	Schmidt	4,0	1.75	1,0
5	Dey	4,0	1,0	1,0

Gelb.

Nro.	Name.	Natriumlicht.	Strontiumlicht.	Kaliumlicht.
1	Kettner	3,0	4,25	2,0
2	Oeken	2,5	4,25	2,25
3	Kramer	2,5	4,5	2,0
4	Schmidt	4	4,0	2,0
5	Dey	6,25	4,0	2,0

Blau.

Nro.	Name.	Natriumlicht.	Strontiumlicht.	Kaliumlicht.
1	Kettner	1,5	0,5	0,75
2	Oeken	2,0	0,5	1,0
3	Kramer	1,0	0,5	0,75
4	Schmidt	1,75	0,5	0,75
5	Dey	1,5	0,5	0,75

Ueberschauen wir jetzt die Thatsachen, die sich in diesen Tabellen uns darstellen, so bemerken wir zunächst eine ziemlich grosse Verschiedenheit zwischen den Farbensehschärfen der Einzelnen; diese Schwankungen sind am bedeutendsten beim direkten Sonnenlicht und werden im allgemeinen geringer mit abnehmender Beleuchtungsintensität. Sodann zeigt es sich, dass nicht bloss bei einem einzelnen Lichte die Farben verschieden weit erkannt werden, sondern dass auch die Verschiedenheit der Beleuchtung grosse Differenzen in der Farbensehschärfe herbeiführen. Um am besten über diesen Punkt eine Uebersicht gewinnen zu lassen, stelle ich die gefundenen Mittelzahlen in einer kleinen Tabelle zusammen.

	Sonnenlicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht	Kerzenlicht.	Calciumlicht.
Roth	31,0	9,7	8,6	4,3	3,3
Grün	20,0	8,0	6,88	4,2	4,1
Gelb	23,8	8,7	7,8	4,9	5,9
Blau	16,0	5,0	4,0	2,2	1,45

Aus dieser Tabelle können wir entnehmen: 1. dass Roth, mit Ausnahme des Calciumlichtes, wo Gelb und Grün weiter gesehen werden, am weitesten von allen Farben differenzirt wird; 2) dass dann Gelb und Grün am weitesten und 3) dass Blau am wenigsten weit gesehen wird; 4) dass der bekannte geringe Gehalt des Kohlenstoffspectrums an blauen Strahlen die Blausehschärfe bei den Kohlenstofflichten nicht ersichtlich in besonders herabsetzender Weise beeinflusst. Bei welchen Lichtarten die F. S. am bedeutendsten ist, kann ohne weiteres aus der Tabelle ersehen werden. Fragen wir nun weiter, ob die empirisch gefundenen Sehschärfen in einem konstanten Verhältniss stehen zu den angewandten Lichtstärken, so scheint in der That ein solches vorhanden zu sein. Bei der Erwägung dieser Frage, bei der natürlich nur das Gas-, Petroleum- und Kerzenlicht, die allein in ihrer Lichtstärke bekannt sind, in

Betracht kommen konnten, ging ich von der Sehschärfe für Roth aus; diese beträgt für Kerzenlicht 4,3, für Petroleumlicht 8,6, für Gaslicht 9,7; die Sehschärfen verhalten sich also wie 1 : 2 : 2,26; gegenüber stehen folgende Lichtintensitäten 1 : 5 : 8; während also die Rothsehschärfe vom Kerzenlicht zum Petroleumlicht von 1 auf 2 stieg, stieg die entsprechende Lichtintensität von 1 auf 5; ich suchte nun diese Zahlen beiderseits in regelmässige Reihen von gleich vielen Gliedern zu bringen, da sie vermuthlich solchen angehörten; dies gelang mir auf der Sehschärfeseite durch Bildung einer arithmetischen Reihe mit dem Anfangsglied 1, der Differenz 0.25 und dem Endglied 2; dann erhalten wir 5 Glieder. Per parentesin sei bemerkt, dass man auch eine beliebige andere Anzahl Glieder bilden könnte; diese ist uns zufällig die passendste. Die Intensitätszahlen musste ich in eine geometrische Reihe ordnen, wenn gleich viel Glieder erzielt werden sollen; das Anfangsglied dieser war auch 1, das Endglied 5 und der Exponent die 4te Wurzel aus 5 = 1,495. Führt man diese Reihen nun weiter bis zum Gaslicht, so ergibt sich, dass beiderseitig nur mehr ein Glied Platz findet; auf der einen Seite steigt die Sehschärfe beim Gaslicht um 0,26, also um 0,01 mehr, als die bisherige Differenz; auf der andern Seite nimmt die Lichtstärke vom Petroleum zum Gaslicht um 3 zu, also um 0,5 mehr, als das 6. Glied mit dem bisherigen Exponenten ergeben würde. Wahrscheinlich müssen wir auch schon in den ersten Gliedern der Reihen ein Steigen der Differenz und vielleicht auch des Exponenten annehmen; vorläufig musste man die Rechnung in eine feste mathematische Form bannen, um sich überhaupt eine Vorstellung über den Zusammenhang machen zu können. Ganz die gleichen Reihen können wir uns bilden für Grün, wo sich die Sehschärfen verhalten wie 1 : 1,64 : 1,9 mit einer anfänglichen Differenz von 0,16, die jedoch im 6ten Glied schon 0,26, also 0,1 mehr beträgt. Bei Gelb finden wir das Verhältniss 1 : 1, 6 : 1,8 mit Anfangsdifferenz von 0,15, die später 0,20, also 0,05 mehr wie früher ausmacht. Blau zeigt folgende Verhältnisszahlen: 1 : 1,8 : 2,27 mit Anfangsdifferenz 0,2, später 0,47 also um 0,27 mehr. Demnach ist die Art des Wachsens der Sehschärfe bei

den übrigen Farben fast noch prägnanter, als beim Roth. Meine Untersuchungen sind zu unzureichend, um zu entscheiden, ob das Steigen der Differenz davon allein herrührt, dass auch die Lichtintensität höher gewachsen ist, als sich nach dem Exponenten ihrer Reihe im 6ten Glied erwarten liess. Jedenfalls ist es jetzt erlaubt zu behaupten, dass bei den in Betracht gezogenen Lichtarten die Intensität es ist, welche den für die Farbensehschärfe ausschlaggebenden Faktor bildet und dass erstere in geometrischer Form steigt, während die letztere in arithmetischer Weise wächst. Die Differenzen für die Sehschärfereihe sind zwar für jede Farbe verschieden, aber sie entfernen sich nicht sehr weit von einander. Schliesslich möchte ich auch daran erinnern, dass bereits für die Abhängigkeit der gewöhnlichen Sehschärfe von verschiedenen Beleuchtungen eine ähnliche Beobachtung gemacht worden ist.

In einer weitern Reihe von Untersuchungen haben wir nunmehr den zweiten Theil der Aufgabe zu lösen, nämlich die Abhängigkeit der Farbensehschärfe von dem Grade der Beleuchtung zu prüfen. Die folgenden Tabellen sind auch leicht verständlich. Die in der zweiten Querkolumne stehenden römischen Zahlen I, II, III bedeuten Beleuchtungsgrad 1 (1 M. Distanz), Beleuchtungsgrad $^1/_2$ (1,42 M. Distanz) und Beleuchtungsgrad $^1/_4$ (2,0 M. Distanz). Es konnten natürlich nur konstant bleibende Lichtquellen benutzt werden. S. die Tabellen.

II. Verhalten der Farbensehschärfe je nach dem Grade der Beleuchtung.

1. Tabelle. (Roth).

Nro.	Tageslicht.		Gaslicht.			Petroleumlicht.			Kerzenlicht.	
	Sonnenlicht.	bedeckter Himmel.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	III.
1	30,0	18,5	9,0	6,0	4,0	8	5,5	3,5	4,5	2,25
2	28,0	18,5	10,0	8,0	6,0	9,0	7,0	4,5	—	—
3	29,0	17,0	9,5	6,25	3,75	7	5,5	3,5	4,0	2,0
4	30,0	18,0	9,0	7,5	5	8,0	7,0	5,0	4,25	2,25
5	33,0	17,0	8,5	6,5	5,25	8,0	6,0	4,0	—	—
6	31,0	19,0	11,0	8,5	6,5	8,5	6,25	4,5	—	—
7	35,0	14,0	10,0	8,0	6,5	9,0	7,25	6,0	—	—
8	35,0	20.0	10,0	7,0	5,0	7,5	5,5	3,75	—	—
9	33,0	13,0	11,0	8,5	6,5	8,0	7,25	5,75	—	—
10	29,0	20,0	11,0	8,5	6,0	9,0	6,5	5,0	—	—
11	29,5	18,0	10,5	8,25	6,5	8,0	5,0	4,0	—	—
12	30,25	17,0	8,75	6,5	5,25	8,25	6,5	4.5	—	—
13	—	17,5	8,5	6,0	5,5	9,5	7,0	5,0	4,5	2,25
14	—	14,0	8,0	5,0	4,0	7,5	4,0	3,5	—	—
15	—	—	—	—	—	7,5	6,0	4,0	—	—
16	—	—	—	—	—	7,0	5,5	4,5	—	—
17	—	—	—	—	—	8.0	5,5	3,75	—	—
18	—	—	—	—	—	8,0	6,0	4	—	—
19	—	—	—	—	—	9,0	6,0	4,5	—	—
20	—	—	—	—	—	7,5	5,5	4,0	—	—
21	—	—	11,0	7,5	6,25	—	—	—	—	—
22	—	—	8,5	7,0	5,5	—	—	—	—	—
23	—	—	8,5	7,25	5,25	—	—	—	—	—
24	—	—	8,5	7,5	6,25	—	—	—	4,25	2,0
Im Mittel	31,0	17,2	9,7	7,2	5,5	8,6	6,03	4,36	4,3	2,13

2. Tabelle. (Grün).

Nro.	Tageslicht.		Gaslicht.			Petroleumlicht.			Kerzenlicht.	
	Sonnenlicht.	bedeckter Himmel.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	III.
1	18,0	14,0	8,5	6,5	4,75	6,0	4,0	3,0	4,25	2,20
2	18,0	14,0	9,25	6,5	5,0	8,0	6,5	3,75	—	—
3	20,0	12,0	9,0	5,5	4,25	5,5	4,0	2,75	4,50	2,25
4	20,0	13,0	6,5	6,0	3,75	7,0	5,25	3.75	3,75	1,90
5	25,0	16,0	8,5	7,0	6,0	8,5	6,5	5,0	—	—
6	20,0	16,0	8,5	6,25	4,5	9,5	6,5	5,25	—	—
7	20,0	15,0	7,5	6,0	5,25	8,0	6,5	4,0	—	—
8	22,0	17,0	9,0	7,0	5,0	7,0	5,0	4,0	—	—
9	19,0	14,0	8,0	6,25	5,0	6,5	5,25	3,75	—	—
10	24,0	16,5	7,5	5,25	5,0	6,5	4,5	4,0	—	—
11	22,0	14,0	8,0	6,5	4,75	6,0	3,75	3,5	—	—
12	18,0	15,0	6,5	5,25	4,5	7,0	5,0	4,0	—	—
13	—	14,0	7,75	7,5	4,75	8,0	6,0	5.0	4,25	2,1
14	—	15,0	7,0	5,0	4,5	4,75	3,75	2,75	—	—
15	—	—	—	—	—	7,0	5,0	3,25	—	—
16	—	—	—	—	—	7,0	4,0	4,0	—	—
17	—	—	—	—	—	6,5	4,75	4,25	—	—
18	—	—	—	—	—	6,0	5,5	3,5	—	—
19	—	—	—	—	—	7,0	5.0	4,0	—	—
20	—	—	—	—	—	6,0	3,0	2,0	—	—
21	—	—	8,5	5,5	4,5	—	—	—	—	—
22	—	—	8,0	5,0	4,0	—	—	—	—	—
23	—	—	8,25	7,0	5,5	—	—	—	—	—
24	—	—	9,5	7,75	4,75	—	—	—	4,25	2,1
Im Mittel	20,0	14,66	8,0	6,26	4,76	6,88	4,9	3,7	4,2	2,11

3. Tabelle. (Gelb).

Nro.	Tageslicht.		Gaslicht.			Petroleumlicht.			Kerzenlicht.	
	Sonnenlicht.	bedeckter Himmel.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	III.
1	20,0	16,0	8,5	7,5	5,0	7,0	4,5	3,5	5,0	2,5
2	29,0	20,0	9,5	6,0	4,0	8,0	7,25	5,0	—	—
3	22,0	12,0	8,75	6,0	4,5	7,0	6,5	3,0	4,75	2,5
4	22,0	16,0	8,0	6,5	4,5	8,0	6,0	4,25	5,0	2,6
5	25,0	15,0	8,5	6,0	5,0	9,5	6,5	4,0	—	—
6	26,0	20,0	9,0	6,75	5,0	9,5	6,5	4,0	—	—
7	26,0	13,0	10,0	7,0	5,5	7,0	6,0	5,0	—	—
8	25,0	20.0	9,0	7,0	4,0	8,5	5,5	3,25	—	—
9	23,0	13,0	7,5	5,75	5,25	7,5	6,25	4,0	—	—
10	27,5	18,0	8,75	6,0	5,5	7,5	6,5	4,0	—	—
11	20,0	13,0	8,0	6,0	5,0	7,0	5,0	3,0	—	—
12	20,0	16,0	8,0	6,0	4,75	8,0	6,25	4.0	—	—
13	—	14,0	8,5	6,5	5,0	9,0	6,5	4,5	4,75	2,4
14	—	13,0	9,0	5,0	3,75	6,5	4,25	3,5	—	—
15	—	—	—	—	—	8,0	5,0	3,0	—	—
16	—	—	—	—	—	8,0	6,0	4,0	—	—
17	—	—	—	—	—	8.0	6,0	4,5	—	—
18	—	—	—	—	—	7,75	6,0	3,25	—	—
19	—	—	—	—	—	8,0	4,5	3,5	—	—
20	—	—	—	—	—	6,0	3,5	3,0	—	—
21	—	—	9,25	5,75	4,25	—	—	—	—	—
22	—	—	9,0	6,5	5,0	—	—	—	—	—
23	—	—	8,25	6,75	5,5	—	—	—	—	—
24	—	—	9,0	7,5	5,25	—	—	—	5,0	2,5
Im Mittel	23,8	15,6	8,7	6,36	4,8	7,8	5,7	3,8	4,9	2,5

4. Tabelle. (Blau).

Nro.	Tageslicht.		Gaslicht.			Petroleumlicht.			Kerzenlicht.	
	Sonnenlicht.	bedeckter Himmel.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	III.
1	13,5	10,0	4,5	3,5	3,0	3,0	2,0	1,5	2,25	1,10
2	20,0	12,0	5,5	4,5	3,5	4.5	3,25	2,25	—	—
3	14,0	12,0	4,0	2,75	2,0	2,75	2,0	1,5	2,0	1,0
4	16,0	12,0	5,0	4,0	2,75	4,0	3,0	2,0	2,5	1,0
5	17,5	10,0	5,75	4,5	3.0	5,25	4,0	2,75	—	—
6	13,0	11,0	5,5	4,0	3,25	4,5	3,75	2,5	—	—
7	16,0	12,5	5,0	3,5	2,5	3,75	3,25	2,5	—	—
8	17,0	14,0	5,0	4,5	3,0	5,25	2,5	2,0	—	—
9	15,0	12,0	5,5	4,0	3,25	3,5	3,0	2,0	—	—
10	19,0	13,0	5,25	4,25	3,0	4,0	3,0	2,25	—	—
11	16,0	11,0	5,25	3,75	3,0	3,75	2,75	2,0	—	—
12	15,0	10,0	4,25	3,5	2,25	4,0	3,0	2,0	—	—
13	—	12,0	4,75	4,0	3,5	5,25	3,5	2,75	2,5	1,25
14	—	9,0	3,75	3.0	2,75	3,0	2,75	2,0	—	—
15	—	—	—	—	—	5,25	3,25	2,75	—	—
16	—	—	—	—	—	3,75	2,0	1,5	—	—
17	—	—	—	—	—	4,0	2,5	2,0	—	—
18	—	—	—	—	—	4,0	3,0	2,5	—	—
19	—	—	—	—	—	3,0	2,5	2,0	—	—
20	—	—	—	—	—	4,0	2,25	2,0	—	—
21	—	—	5,75	3,5	3,0	—	—	—	—	—
22	—	—	4,5	3,25	2,75	—	—	—	—	—
23	—	—	5,0	3,75	3,0	—	—	—	—	—
24	—	—	5.0	3,75	3,0	—	—	—	2,0	1,0
Im Mittel	16,0	11,46	5,0	3.77	2,9	4,0	2,86	2,1	2,2	1,07

Das Resumé aus den obigen Tabellen lässt sich am besten überblicken, wenn wir die gefundenen Mittelzahlen wiederum in einer kleinen Tabelle zusammenstellen.

Farbe.	Tageslicht.		Gaslicht.			Petroleumlicht.			Kerzenlicht.	
	div. Sonnenlicht.	bedeckter Himmel.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	III.
Roth	31,0	17,2	9,7	7,2	5,5	8,6	6,03	4,36	4,3	2,13
Grün	20,0	14,66	8,0	6,26	4,76	6,88	4,9	3,7	4,2	2,11
Gelb	23,8	15,6	8,7	6,36	4,8	7,8	5,7	3,8	4,9	2,5
Blau	16,0	11,46	5,0	3,77	2,9	4,0	2,86	2,1	2,2	1,07

Wie sich schon durch die erste Versuchsreihe zeigte, von welch' grosser Bedeutung die Intensität verschiedener Lichtarten für die Farbensehschärfe ist, so liegt uns hier nun der direkte Versuch vor, den Einfluss bestimmt graduirter Intensitäten ein- und desselben Lichts auf die Farbensehschärfe zu eruiren. Die zur Verwendung gekommenen Grade der Lichtstärke sind Glieder einer geometrischen Reihe, deren Anfangsglied 1, deren Exponent 2 ist. Damit man es der Bequemlichkeit halber nur mit zunehmenden Reihen zu thun habe, soll 1 die Intensität des betreffenden Lichts bei 2 Meter Distanz, also Beleuchtung Nro. III bedeuten. Vollständig sind nur die Untersuchungen bei Gas- und Petroleumlicht verwendbar, da leider vom Kerzenlicht nur zwei Beleuchtungsgrade zur Verfügung stehen. Während also bei den beiden ersteren Lichtarten die Intensität zunimmt, wie 1 : 2 : 4 und beim Kerzenlicht wie 1 : 4 nehmen die Sehschärfen zu

a) bei Gaslicht für	b) bei Petroleumlicht für	c) bei Kerzenlicht für
Roth wie 1 : 1,3 : 1,8	Roth wie 1 : 1,383 : 1,972	Roth wie 1 : 2,02
Grün » 1 : 1,31 : 1,7	Grün » 1 : 1,324 : 1,86	Grün » 1 : 2
Gelb » 1 : 1,32 : 1,8	Gelb » 1 : 1,5 : 2,05	Gelb » 1 : 1,96
Blau » 1 : 1,3 : 1,7	Blau » 1 : 1,36 : 2	Blau » 1 : 2,05

Die Verhältnisszahlen für die Sehschärfe können natürlich nur in einer arithmetisch laufenden Reihe untergebracht werden, die in unserm Falle aus 3 Gliedern besteht. Eine Konstanz der Differenz ist jedoch nicht zu ersehen, sondern alle Verhältnisse sowohl bei Petroleumlicht, als bei Gasbeleuchtung zeigen die Thatsache, dass die Differenz zwischen dem 2ten und 3ten Gliede grösser ist, als die zwischen dem 1ten und 2ten Gliede. Ferner geht aus der Zusammenstellung hervor, dass bei der stärksten Beleuchtung die Sehschärfe beim Kerzenlicht, das die geringste Leuchtstärke hat, am meisten gewachsen ist und relativ am niedrigsten blieb beim Gaslicht, welches die grösste Leuchtkraft besitzt, so dass man demnach annehmen kann, dass bei ein- und demselben Licht das Wachsen der Differenz um so geringer ist, je grösser seine Intensität an sich ist. Eine kleine Fehlerquelle bildet der unvermeidliche Winkel zwischen dem auf die Farbenfläche fallenden Lichtstrahl und den Strahlen, die in das Auge des zu Prüfenden reflektirt werden. Dieser fällt grösser aus, wenn das Licht näher steht. Dadurch wird ein gewisses Deficit an der absoluten Sehschärfe bei näherer Distanz der Lichtquelle bedingt, welches stärker wird mit dem Näherrücken des Lichts resp. Stärkerwerden der Beleuchtung. Dieser steigende Abzug würde vermieden, wenn man senkrecht auf die Farbenfläche geworfenes Licht benutzen könnte. Mit Hülfe der gefundenen Thatsachen können wir nunmehr als fast sicher die Behauptung aufstellen, dass bei jedem einzelnen der geprüften Lichtarten die Sehschärfe in arithmetischer Weise wächst, wenn die Intensität der Beleuchtung in geometrischer Progression steigt, ein Satz, der uns schon früher betreffs der Vergleichung mehrerer Lichtarten in gleicher Weise begegnete. Als ebenso sicher kann gelten, dass bei demselben Licht und innerhalb der von mir inne gehaltenen Grenzen die Differenz der Sehschärfe wächst mit zunehmender Lichtstärke, während der Exponent der letztern konstant bleibt.

Sehen wir nun auch einmal, wie sich die Donders'sche Formel für K zu meinen Untersuchungen stellt. Legen wir die Prüfungen beim gewöhnlichen diffusen Tageslicht zu Grunde,

so ergibt sich 1) für Roth $K = \frac{1}{16} \cdot \frac{17{,}2^2}{5^2} = \frac{295{,}8}{400}$; K wäre also im Durchschnitt meiner Fälle um mehr als $^1/_3$ zu niedrig gewesen; 2) für Grün $K = \frac{1}{16} \cdot \frac{14{,}66^2}{5^2} = \frac{214{,}9}{400}$; 3) für Gelb $K = \frac{1}{16} \cdot \frac{15{,}6^2}{5^2} = \frac{243{,}36}{400}$; 4) für Blau $K = \frac{1}{16} \cdot \frac{11{,}46^2}{5^2} = \frac{131{,}3}{400}$. Also K ist in meinen Fällen durchgängig subnormal. Auch hieraus geht demnach hervor, dass die Donders'sche Norm viel zu hoch ist. Was die Dor'schen Angaben betrifft, so will ich nur ein Beispiel anführen: Nach ihm wird ein Grün von 4 mm. Durchmesser nur in 10 M. Entfernung bei Tageslicht erkannt, während die Personen, die ich geprüft habe, es bereits in 14,6 M. erkannten.

Zum Schluss will ich noch kurz die Frage der Abhängigkeit des Farbeneindrucks von der Art und dem Grade der Beleuchtung einer Erörterung unterziehen. Ich werde mich hier begnügen, nur die gefundenen Thatsachen zu registriren und mich nicht auf eingehende Erläuterungen einlassen, da diese mehr Sache der Physiker von Fach sind; nur an das eine physikalische Gesetz möchte ich erinnern, dass die Körperfarbe vor allem von dem auffallenden Licht abhängt in der Art, dass eine Fläche einen Theil desselben absorbirt und einen andern Theil reflektirt, welcher letztere seine Farbe bedingt. Hieraus erhellt natürlich auch, dass ein Körper z. B. nicht roth erscheinen kann, wenn keine rothen Strahlen auf ihn fallen. Ferner möchte ich an die längst bekannte Thatsache erinnern, dass die Flammen der Kohlenstoffverbindungen sehr wenig blaue Strahlen enthalten, das Gaslicht jedoch mehr, als das Petroleum und Kerzenlicht. Die von mir gefundenen Thatsachen sind kurz folgende: 1) Die vier Grundfarben werden von allen nicht Farbenblinden in gleicher Weise perzipirt; die scheinbaren Unterschiede lassen sich auf die geringere oder grössere Uebung, einen empfundenen Eindruck in Worten zu präcisiren, zurück-

führen; wohlbemerkt, es handelt sich hier nicht um die Differenzirung feinerer Farbenunterschiede, deren Existenz man erkennen lernen muss; 2) die Hauptunterschiede in der Wahrnehmung farbiger Eindrücke werden bedingt durch die Art der Beleuchtung, weniger durch den Grad derselben, der fast nur von Bedeutung ist bei der Perception von Blau, dessen bei Lampen- und Kerzenlicht bereits von vorn herein vorhandener mattgrauer Ton sich bei abnehmender Beleuchtung verstärkt. Die Einreihung der durch die Lichtart erzeugten Unterschiede in eine Tabelle vereinfacht sich daher bedeutend; die Einrichtung der folgenden ist an sich klar; wo abweichende Angaben gemacht wurden, da sind diese unter einander vermerkt worden.

	Tageslicht.	Gaslicht.	Petroleumlicht.	Kerzenlicht.	Calciumlicht.	Natriumlicht.	Kaliumlicht.	Strontiumlicht.
Roth	Roth, in der Ferne dunkelroth.	Hellroth, in weitester Ferne auch dunkelroth.	Hellroth, in weitester Ferne dunkelroth.	Hellroth, in weitester Ferne, wie vorhin.	Blassroth; ziegelroth; in der Ferne etwas gelblich.	Grünlich-grau; grau-blau; grau-schwarz schmutziges grünlich-blau.	Schwarzblau mit schwachem Stich in's Dunkelrothe; dunkelgrauroth; der dunkelrothe Ton wird bei stärkerer Beleuchtung intensiver.	Rothgelb.
Grün	Grün, in gewisser Entfernung blaugrün.	Schmutzig hellgrün.	Schmutzig hellgrün, jedoch etwas schmutziger wie bei Gaslicht.	Sehr schmutzig-hellgrün.	Blass-hellgrün; hellgrün; grün mit einem Stich in's Gelbliche.	Sehr hell-grau-grünlich.	Schmutzig graugrün.	Hellgrau mit Stich in's Grüne.
Gelb	Gelb, in der Ferne in Blassgelb übergehend.	Hellgelb mit einem Stich in's Röthliche.	Blassgelb.	Sehr röthliches blassgelb.	Gelb-grünlich.	Schmutziges hellgelb.	Gelbroth.	Hellgelb mit röthlichem Schimmer.
Blau	Blau.	Dunkelschwarzblau.	Mattgraues Schwarzblau, dessen matter Ton zunimmt bei abnehmender Beleuchtung.	Dunkelschieferblau.	Schieferblau; blau mit einem Stich in's Grünliche.	Schwarzblau.	Hellgraublau; grünlichgrau.	Verwaschen hellblau.

Curriculum vitae.

Verfasser, katholischer Confession, wurde geboren am 11. Juli 1856 zu Fürstenberg, Regierungsbezirk Minden. Im Jahr 1869 in das Gymnasium zu Paderborn aufgenommen, verliess er dasselbe mit dem Zeugniss der Reife im März 1877. Darauf wurde er im April desselben Jahres zu Marburg immatrikulirt, um Medizin zu studieren. Hier bestand er in seinem vierten Studiensemester das Tentamen physicum. Den Sommer 1881 verbrachte derselbe an der Universität München, kehrte aber im Herbst desselben Jahres nach Marburg zurück, um hier sein Staatsexamen zu machen, welches er dann am 31. Oktober 1881 begann und am 3. Januar 1882 vollendete.

Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen resp. Kliniken folgender Herren Professoren und Dozenten: **Beneke, Böhm, Dohrn, Ferber, Fittica, Greeff, Horstmann, Hüter, Lahs, Mannkopff, Melde, Külz, Lieberkühn, Roser, Schmidt-Rimpler, Wagener, Wigand, Zinke** zu Marburg; **Amann, Bezold, v. Nussbaum, Helferich, v. Pettenkofer, Ranke, v. Rothmund, Schech, v. Ziemssen** zu München.

Allen diesen Herren spricht der Verfasser hiermit seinen wärmsten Dank aus, insbesondere aber noch dem Herrn Professor Dr. Schmidt-Rimpler für die freundliche Ueberwachung dieser Arbeit.